

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



## 書誌

(19)【発行国】日本国特許庁(JP)  
(12)【公報種別】公開特許公報(A)  
(11)【公開番号】特開2003-143075(P2003-143075A)  
(43)【公開日】平成15年5月16日(2003. 5. 16)  
(54)【発明の名称】光伝送システム  
(51)【国際特許分類第7版】

H04B 10/02  
G02B 6/10  
6/22  
H04B 10/18

## 【FI】

G02B 6/10 C  
6/22  
H04B 9/00 M

【審査請求】未請求

【請求項の数】9

【出願形態】OL

【全頁数】8

(21)【出願番号】特願2001-342508(P2001-342508)

(22)【出願日】平成13年11月7日(2001. 11. 7)

(71)【出願人】

【識別番号】000005186

【氏名又は名称】株式会社フジクラ

【住所又は居所】東京都江東区木場1丁目5番1号

(72)【発明者】

【氏名】愛川 和彦

【住所又は居所】千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内

(72)【発明者】

【氏名】清水 正砂

【住所又は居所】千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内

(72)【発明者】

【氏名】中山 真一

【住所又は居所】千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内

(72)【発明者】

【氏名】姫野 邦治

【住所又は居所】千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内

(74)【代理人】

【識別番号】100064908

【弁理士】

【氏名又は名称】志賀 正武(外3名)

【テーマコード(参考)】

2H050  
5K002

## 【Fターム(参考)】

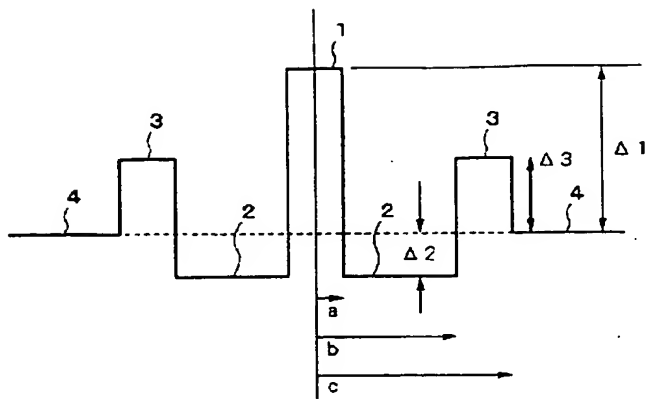
2H050 AC09 AC28 AC36 AC38 AC71 AC73 AC81 AD01  
5K002 CA01 FA01 FA02

## 要約

(57)【要約】

【課題】分散補償光ファイバの歩留まりを維持しつつ、40Gb/s以上の高速伝送を可能とする光伝送システムを提供する。

【解決手段】個々の分散補償光ファイバによる分散補償の条件を比較的緩やかに設定し、これらの分散補償光ファイバを複数本組み合わせることで分散補償部12を構成することにより、光伝送システム全体としては、個々の分散補償光ファイバによる分散補償の条件より分散補償の条件を厳しくして、十分な分散補償がなされるよう光伝送システムを構成する。



### 請求の範囲

#### 【特許請求の範囲】

【請求項1】 使用波長帯域内において正の波長分散および正の分散スロープを有する伝送用光ファイバと、この伝送用光ファイバを分散補償するための、負の波長分散および負の分散スロープを有する分散補償光ファイバとからなる光伝送路を有する光伝送システムにおいて、該伝送用光ファイバの波長分散および分散スロープと、個々の該分散補償光ファイバの波長分散および分散スロープとが式(1)を満たし、該伝送用光ファイバの波長分散および分散スロープと、複数の該分散補償光ファイバを組合せて形成された分散補償部における波長分散および分散スロープとが式(2)、式(3)を満たすことを特徴とする光伝送システム。

【数1】

$$a \leq \frac{S_{di}/D_{di}}{S_t/D_t} \leq b \quad \dots(1)$$

【数2】

$$c \leq \frac{\sum_{i=1}^n S_{di}/D_{di} \cdot \frac{L_{di}}{\sum_{i=1}^n L_{di}}}{S_t/D_t} \leq d \quad \dots(2)$$

【数3】

$$c > a, d < b \quad \dots(3)$$

式(1)、式(2)、式(3)において、 $D_t$ 、 $S_t$ は伝送用光ファイバの波長分散及び分散スロープであり、 $D_{di}$ 、 $S_{di}$ 、 $L_{di}$ は、個々の分散補償光ファイバの波長分散、分散スロープ及び光ファイバ長であり、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ は波長分散と分散スロープとの比について伝送用光ファイバと分散補償光ファイバとの比を規定する定数である。

【請求項2】  $a \geq 0.6$ 、 $b \leq 1.4$ 、 $c \geq 0.8$ 、 $d \leq 1.2$ であることを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項3】  $a \geq 0.6$ 、 $b \leq 1.4$ 、 $c \geq 0.9$ 、 $d \leq 1.1$ であることを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項4】 前記分散補償部が光ケーブルとして組み込まれていることを特徴とする請求項1、2又は3記載の光伝送システム。

【請求項5】 前記分散補償部が光モジュールとして組み込まれていることを特徴とする請求項1、2又は3記載の光伝送システム。

【請求項6】 前記使用波長帯域が1460nmから1530nmの波長範囲から任意に選択された波長範囲であることを特徴とする請求項1、2、3、4又は5記載の光伝送システム。

【請求項7】 前記使用波長帯域が1530nmから1565nmの波長範囲から任意に選択された波長範囲であることを特徴とする請求項1、2、3、4又は5記載の光伝送システム。

【請求項8】 前記使用波長帯域が1565nmから1625nmの波長範囲から任意に選択された波長範囲であることを特徴とする請求項1、2、3、4又は5記載の光伝送システム。

【請求項9】 コアとその外周上に設けられたクラッドとからなり、該コアが、少なくともクラッドの屈折率より大きい屈折率を有する中心コア部と、この中心コア部の外周上に設けられクラッドの屈折率より小さい屈折率を有するデプレストコア部と、このデプレストコア部の外周上に設けられクラッドの屈折率より大きい屈折率を有するリングコア部とからなり、リングコア部半径が $6\mu\text{m}$ から $9\mu\text{m}$ 、中心コア部半径に対するデプレストコア部半径の比が2.5から4.0、デプレストコア部半径に対するリングコア部半径の比が1.1から2.0であり、クラッドに対する中心コア部の比屈折率差が1.2%から1.7%、クラッドに対するデプレストコア部の比屈折率差が-0.20%から-0.45%、クラッドに対するリングコア部の比屈折率差が0.2%から1.1%であり、 $1.460\mu\text{m} \sim 1.625\mu\text{m}$ から選択された使用波長帯における実効断面積が $20\mu\text{m}^2$ 以上、前記使用波長帯における曲げ損失が $20\text{dB/m}$ 以下、前記使用波長帯における波長分散が $-65 \sim -100 \text{ ps/nm/km}$ の範囲にあり、かつ前記使用波長帯において、実質的な使用状態においてシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有する光ファイバを前記分散補償光ファイバとして用いたことを特徴とする請求項1から8までのいずれかに記載の光伝送システム。

### 詳細な説明

#### 【発明の詳細な説明】

[0001]

【発明の属する技術分野】本発明は、1. 3 $\mu$ m帯零分散シングルモード光ファイバに代表されるシングルモード光ファイバを用いて1. 46~1. 63 $\mu$ m帯から選択された使用波長帯で光信号を送送する際に生じる波長分散を、分散補償光ファイバにより広い波長範囲で補償して光伝送する光伝送システムに関し、特に、残留分散を小さくして40Gb/s以上の高速伝送を可能とする光伝送システムに関する。

[0002]

【従来の技術】エルビウム添加光ファイバ増幅器が実用化されたことによって、波長1. 53~1. 63 $\mu$ m帯では超長距離無再生中継など、光増幅器を用いた光伝送システムが既に商用化されている。また、通信容量の増大に伴い、波長多重伝送の開発が急速に進められ、既にいくつかの光伝送路については商用化されている。今後は、広帯域化と波長間隔を狭くすることで、より一層波長多重数が増加していくと考えられるが、さらに1波長あたりの伝送速度の高速化も進んでいくと考えられる。波長多重伝送のためには、使用する波長帯域において、伝送用光ファイバの有する伝送損失を含めて、エルビウム添加光ファイバ増幅器による利得差が出来るだけ小さく、波長分散も伝送途中ではある程度大きく、光伝送システム全体としては伝送帯域全体に亘ってある程度小さいことが重要である。

【0003】また、最近の長距離システムでは、波長多重数が急激に伸び、光ファイバを伝搬する光のパワーが急激に増加するため、非線形効果の制御技術が必須である。この非線形効果の大きさは、 $n_2/A_{eff}$ で表される。ここで、 $n_2$ は光ファイバの非線形屈折率、 $A_{eff}$ は光ファイバの実効断面積である。非線形効果を低減するためには $n_2$ を小さくするか、 $A_{eff}$ を大きくする必要があるが、 $n_2$ が材料に固有の値であるため石英系の光ファイバでは大きく低減させることは困難である。そのため現在の非線形抑制光ファイバの開発は $A_{eff}$ を大きくすることに主眼が置かれている。

【0004】現在、1. 3 $\mu$ m帯零分散シングルモード光ファイバ網は、世界中に広がっている。この光ファイバ網を用いて1. 55 $\mu$ mの伝送を行うと、この1. 55 $\mu$ m帯では、約+17ps/nm/kmの波長分散が生じる。そのためこの光ファイバを用いて信号を送送すると、波長分散の影響で伝送特性が大きく劣化する。そのため、この波長分散を補償するために分散補償光ファイバの開発が進められ、既に商用化されている。この分散補償光ファイバは、1. 55 $\mu$ m帯で大きな負の分散を持っており、適切な長さの分散補償光ファイバと伝送用光ファイバとを接続することで、伝送用シングルモード光ファイバで生じた正の分散を相殺することができる。残留分散は高速伝送の障害となるが、このようにして蓄積した分散を補償することにより高速通信が可能となる。

【0005】標準型シングルモード光ファイバを用いた光伝送路の分散スロープ、波長分散を補償する分散補償光ファイバモジュールの需要は急激に伸びている。これらのモジュールは既に出願済みの筆者等による以下の発明や学会報告などの技術により製造することが可能である。例えば、出願としては、特願2000-54646、特願2000-159071、特願2000-216587、特願2000-241547、特願2000-266169、特願2000-359772などがあり、学会報告としては、例えば、"Large-effective-area dispersion compensating fibers for dispersion accommodation both in the C and L band", OECC' 00, Technical Digest, 14C4-4, pp. 554-555, 2000などがある。分散補償光ファイバは、その屈折率分布を図1に示す形状とし、各層の外径比、屈折率を適切に設定することで、実効断面積を大きくし低非線形性を維持することが可能となっている。これらの技術を用いることにより、図3に示すように伝送路の蓄積分散を広い波長範囲で補償することが可能となる。

[0006]

【発明が解決しようとする課題】ところで、伝送速度は光伝送路の蓄積分散により制限されるため、分散補償光ファイバモジュールとしては、使用波長帯の一波長ではなく広い波長帯域で分散補償が可能な分散スロープ補償型分散補償光ファイバモジュールの需要が高まっている。蓄積分散と伝送速度の関係を図4に示す。伝送距離は、伝送路の偏波分散や伝送損失により制限されるが、1. 3 $\mu$ m帯分散シングルモード光ファイバの伝送距離は、分散補償光ファイバモジュールの損失なども考慮すると400km程度である。そして図4より40Gb/sの高速伝送を行うためには、残留分散を±65ps/nm以下にする必要がある。このような高速伝送を達成させるためには、分散補償光ファイバモジュールとしては、光伝送路に蓄積された残留分散を補償できるように光モジュールの波長分散を正確に合わせ、分散スロープ補償率も100%に近くする必要がある。

【0007】分散補償光ファイバモジュールに用いられる分散スロープ補償型分散補償光ファイバは、屈折率分布制御技術の発達により、100%に近い分散スロープ補償率を得られるようになったが、屈折率プロファイルの変化に対して分散スロープ補償率の感度が非常に高いために、量産するとある分布を持つようになる。例えば、分散補償対象である1. 3 $\mu$ m帯零分散シングルモード光ファイバを、波長1530~1570nm帯において分散補償するために、この波長帯域の中心の波長である1550nmで必要な分散量を微調整して、分散誤差を±1. 0%以内に収め、さらに分散補償光ファイバを選択することで分散スロープ補償率も100±10%にすることは可能であるが、このような高性能な分散補償光ファイバを用いてモジュール製造を行うと、光ファイバの歩留まりの低下をもたらすコスト増となる。

【0008】本発明は、このような問題点を解決するためになされたもので、分散補償光ファイバの歩留まりを維持しつつ、40Gb/s以上の高速伝送を可能とする光伝送システムを提供することを目的とする。

[0009]

【課題を解決するための手段】以上の課題を解決するために、請求項1記載の発明は、使用波長帯域内において正の波長分散および正の分散スロープを有する伝送用光ファイバと、この伝送用光ファイバを分散補償するための、負の波長分散および負の分散スロープを有する分散補償光ファイバとからなる光伝送路を有する光伝送システムにおいて、該伝送用光ファイバの波長分散および分散スロープと、個々の該分散補償光ファイバの波長分散および分散スロープとが式(1)を満たし、該伝送用光ファイバの波長分散および分散スロープと、複数の該分散補償光ファイバを組合せて形成された分散補償部における波長分散および分散スロープとが式(2)、式(3)を満たすことを特徴とする光伝送システムである。

【数1】

$$a \leq \frac{Sdi/Ddi}{St/Dt} \leq b \quad \dots(1)$$

【数2】

$$c \leq \frac{\sum_{i=1}^n Sdi/Ddi \cdot \frac{Ldi}{\sum_{i=1}^n Ldi}}{St/Dt} \leq d \quad \dots(2)$$

【数3】

$$c > a, d < b \quad \dots(3)$$

このように、個々の分散補償光ファイバによる分散補償の条件を比較的緩やかに設定し、これらの分散補償光ファイバを複数本組み合わせることで分散補償部を構成することにより、分散補償光ファイバの歩留まりを維持しつつ、光伝送システム全体としては、個々の分散補償光ファイバによる分散補償の条件より分散補償の条件を厳しくして、十分な分散補償がなされるよう光伝送システムを構成することができる。

【0010】請求項2記載の発明は、請求項1記載の光伝送システムにおいて、 $a \geq 0.6$ 、 $b \leq 1.4$ 、 $c \geq 0.8$ 、 $d \leq 1.2$ であることを特徴とする。請求項3記載の発明は、請求項1記載の光伝送システムにおいて、 $a \geq 0.6$ 、 $b \leq 1.4$ 、 $c \geq 0.9$ 、 $d \leq 1.1$ であることを特徴とする。請求項4記載の発明は、請求項1、2又は3記載の光伝送システムにおいて、前記分散補償部が光ケーブルとして組み込まれていることを特徴とする。請求項5記載の発明は、請求項1、2又は3記載の光伝送システムにおいて、前記分散補償部が光モジュールとして組み込まれていることを特徴とする。

【0011】請求項6記載の発明は、請求項1、2、3、4又は5記載の光伝送システムにおいて、前記使用波長帯域が1460nmから1530nmの波長範囲から任意に選択された波長範囲であることを特徴とする。請求項7記載の発明は、請求項1、2、3、4又は5記載の光伝送システムにおいて、前記使用波長帯域が1530nmから1565nmの波長範囲から任意に選択された波長範囲であることを特徴とする。請求項8記載の発明は、請求項1、2、3、4又は5記載の光伝送システムにおいて、前記使用波長帯域が1565nmから1625nmの波長範囲から任意に選択された波長範囲であることを特徴とする。

【0012】請求項9記載の発明は、請求項1から8までのいずれかに記載の光伝送システムにおいて、コアとその外周上に設けられたクラッドとからなり、該コアが、少なくともクラッドの屈折率より大きい屈折率を有する中心コア部と、この中心コア部の外周上に設けられクラッドの屈折率より小さい屈折率を有するデプレストコア部と、このデプレストコア部の外周上に設けられクラッドの屈折率より大きい屈折率を有するリングコア部とからなり、リングコア部半径が $6\mu\text{m}$ から $9\mu\text{m}$ 、中心コア部半径に対するデプレストコア部半径の比が2.5から4.0、デプレストコア部半径に対するリングコア部半径の比が1.1から2.0であり、クラッドに対する中心コア部の比屈折率差が1.2%から1.7%、クラッドに対するデプレストコア部の比屈折率差が-0.20%から-0.45%、クラッドに対するリングコア部の比屈折率差が0.2%から1.1%であり、1.460 $\mu\text{m}$ ～1.625 $\mu\text{m}$ から選択された使用波長帯における実効断面積が $20\mu\text{m}^2$ 以上、前記使用波長帯における曲げ損失が20dB/m以下、前記使用波長帯における波長分散が-65～-100 ps/nm/kmの範囲にあり、かつ前記使用波長帯において、実質的な使用状態においてシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有する光ファイバを前記分散補償光ファイバとして用いたことを特徴とする。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明を詳細に説明する。本発明の光伝送システムで用いられる分散補償光ファイバの屈折率分布の一例を図1に示す。図1中、符号1は中心コア部、符号2は中心コア部1の外周上に設けられたデプレストコア部、符号3はデプレストコア部2の外周上に設けられたリングコア部、符号4はリングコア部3の外周上に設けられたクラッドである。中心コア部1は、クラッド4の屈折率より大きい屈折率を有し、デプレストコア部2は、クラッド4の屈折率より小さい屈折率を有し、リングコア部3は、クラッド4の屈折率より大きい屈折率を有する。図1に示すように、中心コア部1の半径をa、デプレストコア部2の半径をb、リングコア部3の半径をcとすると、中心コア半径に対するデプレストコア半径の比 $b/a$ は2.5から4.0であり、デプレストコア半径に対するリングコア半径の比 $c/b$ は1.1から2.0であり、リングコア半径cは $6\mu\text{m}$ から $9\mu\text{m}$ となるようにこの分散補償光ファイバは形成されている。

【0014】また、クラッド4に対する中心コア部1の比屈折率差 $\Delta 1$ は1.2%から1.7%、クラッド4に対するデプレストコア部2の比屈折率差 $\Delta 2$ は-0.25%から-0.45%、クラッド4に対するリングコア部3の比屈折率差 $\Delta 3$ は0.2%から1.1%である。この分散補償光ファイバは、例えば、1.460 $\mu\text{m}$ から1.625 $\mu\text{m}$ から選択された使用波長帯域における実効コア断面積が $20\mu\text{m}^2$ 以上、前記使用波長帯域における曲げ損失が20dB/m以下、前記使用波長帯域における波長分散が-65～-100ps/nm/kmの範囲であり、実質的にシングルモード光を伝搬することが可能なカットオフ波長を有している。

【0015】次に、この分散補償光ファイバを用いた光伝送路を有する光伝送システムの例を図2に示す。図2中、符号11は伝送用光ファイバであり、この伝送用光ファイバ11に分散補償部12が接続されて光伝送路が形成されている。この光伝送路がいくつかに繰り返され、送信部13と受信部14とが接続されて光伝送システムが形成されている。分散補償部12は、使用波長帯域内において正の波長分散および正の分散スロープを有する伝送用光ファイバを分散補償するために用いられ、負の波長分散および負の分散スロープを有する分散補償光ファイバを複数組み合わせることで形成されている。この光伝送システムにおいては、伝送用光ファイバ11の波長分散 $D_t$ 、及び伝送用光ファイバ11の分散スロープ $S_t$ と、個々の分散補償光ファイバの波長分散 $D_{d_i}$ 、個々の分散補償光ファイバの分散スロープ $S_{d_i}$ 、個々の分散補償光ファイバの光ファイバ長 $L_{d_i}$ とは、式(1)を満たし、複数の該分散補償光ファイバを組合せて形成された分散補償部12としては式(2)、式(3)を満たすような分散補償光ファイバが用いられている。なお、分散スロープとは、波長の変化に対する波長分散の変化の割合をいう。

【0016】この例の光伝送システムにおいては、光伝送の際に、正の波長分散および正の分散スロープを有する伝送用光ファイバ11によって正の波長分散を生じるが、光伝送路に接続された分散補償部12を構成する分散補償光ファイバは負の波長分散及び負の分散スロープを有しているため、伝送用光ファイバ11によって生じた正の波長分散は、分散補償光ファイバによって補償される。式(1)において、分母の $S_t/D_t$ は、正の波長分散及び正の分散スロープを有する伝送用光ファイバ11の分散スロープを波長分散で割った値(Relative Dispersion Slope 以下「RDS」と略記する)であり、分子の $S_{d_i}/D_{d_i}$ は、負の波長分散及び負の分散スロープを有する個々の分散補償光ファイバのRDSである。従って、この両者の比をとることによって、個々の分散補償光ファイバによって分散補償される度合いを表すことができる。一方、式(2)において、分母は式(1)と同様であるが、分子において、 $(S_{d_i}/D_{d_i}) \cdot L_{d_i}$ は、個々の分散補償光ファイバについてのRDSと分散補償光ファイバの光ファイバ長との積であり、 $S(S_{d_i}/D_{d_i}) \cdot L_{d_i}$ はこのRDSと光ファイバ長との積についての分散補償部12全体での総和を意味し、これを分散補償部12全体の光ファイバ長 $SL_{d_i}$ で割った値は、分散補償部12全体でのRDSとなる。従って、この両者の比をとることによって、分散補償部12によって分散補償される度合いを表すことができる。

【0017】この分散補償光ファイバによる分散補償に際しては、式(3)において、 $c > a$ 、かつ $d < b$ としていることからわかるように、式(1)に示す個々の分散補償光ファイバによる分散補償の条件を比較的緩やかに設定し、これらの分散補償光ファイバを複数本組み合わせることで分散補償部12を構成することにより、光伝送路全体としては、式(2)に示すように、式(1)に比べて分散補償の条件を厳しくして、十分な分散補償がなされるようにしている。伝送用光ファイバのRDSと分散補償光ファイバのRDSとの比を規定する定数a、b、c、dについては、 $a \geq 0.6$ 、 $b \leq 1.4$ 、 $c \geq 0.8$ 、 $d \leq 1.2$ であることが好ましく、 $a \geq 0.6$ 、 $b \leq 1.4$ 、 $c \geq 0.9$ 、 $d \leq 1.1$ であることがより好ましい。これは、a、b、c、dがこの関係を満たすように、個々の分散補償光ファイバによって分散補償がなされていれば、これらの分散補償光ファイバを複数組み合わせることで分散補償部12を形成することによって、分散補償部12と

して十分な分散補償をすることが可能だからである。また、aとc、bとdとの関係をこのように設定することによって、分散補償部12において用いられる分散補償光ファイバの分散特性を比較的緩やかにすることができ、分散補償光ファイバの歩留まりを向上することができる。

【0018】この光伝送システムにおいては、その使用波長帯域は、1460nmから1530nmの波長範囲、1530nmから1565nmの波長範囲、または1565nmから1625nmの波長範囲から任意に選択されることが好ましい。以上の例においては、分散補償光ファイバからなる分散補償部12をケーブル化して光伝送路を形成した例について説明したが、分散補償光ファイバを用いて分散補償された光伝送システムはこれに限定されるものではなく、分散補償光ファイバを複数本組み合わせた分散補償部12を光モジュールとして形成し、既存の光伝送路の受信部側、又は送信部側にこの光モジュールを挿入して波長分散、及び分散スロープを補償することも可能である。

【0019】以下、具体例を示す。

(実施例1) 1. 3 $\mu$ m帯零分散シングルモード光ファイバ80km補償用の分散補償光ファイバモジュールを作製するために、図1の屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバを作製した。その光学特性を表1に示す。

【0020】

【表1】

No	波長分散 ps/nm/km @1550nm	分散スロープ ps/nm <sup>2</sup> /km @1550nm	分散スロープ ÷ 波長分散 nm <sup>-1</sup> @1550nm	伝送損失 dB/km @1550nm	Aeff μm <sup>2</sup> @1550nm	PMD ps/√km @1550nm帯
光ファイバA	-81	-0.28	0.0035	0.32	22.3	0.05
光ファイバB	-81	-0.19	0.0023	0.31	23.2	0.08
光ファイバC	-85	-0.37	0.0044	0.33	21.4	0.06

【0021】分散補償光ファイバモジュールが満たすべき規格は、分散スロープ補償率で100±10%である。分散補償光ファイバモジュールに必要な分散スロープと波長分散との比率、すなわちRDSは0.0034±0.0003nm<sup>-1</sup>である。従って、光ファイバBと光ファイバCは、モジュール化前の光ファイバの状態で光モジュールが満たすべき上記RDSの条件を満たしていないが、ここでは、光ファイバBと光ファイバCとをそれぞれ8.2kmずつ組み合わせて分散補償部を形成し、これを光モジュールDとした。一方、光モジュールAはモジュール化前の光ファイバの状態RDSの規格を満たしている光ファイバAのみを用いて作製したモジュールである。このようにして作製された分散補償光ファイバモジュールの光学特性を表2に示す。

【0022】

【表2】

No	挿入損失 dB @1550nm	分散量 ps/nm @1550nm	分散スロープ ps/nm <sup>2</sup> @1550nm	分散スロープ ÷ 波長分散 nm <sup>-1</sup> @1550nm	分散スロープ 補償率 %	PMD ps @1550nm 帯	合否
光モジュールA	6.6	-1360	-4.7	0.0035	102	0.2	合
光モジュールD	6.6	-1361	-4.6	0.0034	99	0.3	合

【0023】光モジュールA、光モジュールDともに規格を満たす結果となった。また、光モジュール製造に使用された光ファイバの端尺を組み合わせる分散補償光ファイバモジュールを作製することもでき、分散補償光ファイバを組み合わせる分散補償部を形成することにより、分散補償光ファイバモジュールに要するコストを大幅に低減することができる。

【0024】(実施例2) L-バンド帯で1.3 $\mu$ m帯零分散シングルモード光ファイバ80km補償用の分散補償光ファイバモジュールを作製するために、図1の屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバを作製した。その光学特性を表3に示す。

【0025】

【表3】

No	波長分散 ps/nm/km @1590nm	分散スロープ ps/nm <sup>2</sup> /km @1590nm	分散スロープ ÷ 波長分散 nm <sup>-1</sup> @1590nm	伝送損失 dB/km @1590nm	Aeff μm <sup>2</sup> @1590nm	PMD ps/√km @1590nm帯
光ファイバE	-81	-0.23	0.0028	0.31	21.8	0.05
光ファイバF	-81	-0.14	0.0017	0.30	21.2	0.07
光ファイバG	-85	-0.31	0.0036	0.32	21.4	0.06

【0026】分散補償光ファイバモジュールが満たすべき規格は、分散スロープ補償率で100±10%である。分散補償光ファイバモジュールに必要な分散スロープと波長分散との比率、すなわちRDSは0.0029±0.0003nm<sup>-1</sup>である。従って、光ファイバFと光ファイバGは、モジュール化前の光ファイバの状態でも光モジュールが満たすべき上記RDSの条件を満たしていないが、ここでは、光ファイバF8.2kmと光ファイバG10.5kmとを組み合わせることで分散補償部を形成し、光モジュールHとした。一方、光モジュールEは、モジュール化前の光ファイバの状態でもRDSの規格を満たしている光ファイバEのみを用いて作製したモジュールである。このようにして作製された分散補償光ファイバモジュールの光学特性を表4に示す。

【0027】

【表4】

No	挿入損失 dB @1590nm	分散量 ps/nm @1590nm	分散スロープ ps/nm <sup>2</sup> @1590nm	分散スロープ ÷ 波長分散 nm <sup>-1</sup> @1590nm	分散スロープ 補償率 % @1590nm	PMD ps @1590nm 帯	合否
光モジュールE	7.2	-1520	-4.3	0.0028	98	0.2	合
光モジュールH	7.4	-1520	-4.4	0.0029	100	0.3	合

【0028】光モジュールE、光モジュールHともに規格を満たす結果となった。また、モジュール製造に使用された光ファイバの端尺を組み合わせることで分散補償光ファイバモジュールを作製することもでき、分散補償光ファイバを組み合わせることで分散補償部を形成することにより、分散補償光ファイバモジュールに要するコストを大幅に低減することができる。

【0029】(比較例1)実施例1に対する比較例として、1.3μm帯零分散シングルモード光ファイバ80km補償用の分散補償光ファイバモジュールを作製するために、図1の屈折率プロファイルを有し、表1に示す光学特性を有する分散補償光ファイバを作製し、この単一種の光ファイバから分散補償光ファイバモジュールを作製した。すなわち、光ファイバAのみから光モジュールAを作製し、光ファイバBのみから光モジュールBを作製し、光ファイバCのみから光モジュールCを作製している。分散補償光ファイバモジュールが満たすべき規格は、分散スロープ補償率で100±10%である。作製した分散補償光ファイバモジュールの光学特性を表5に示す。

【0030】

【表5】

No	挿入損失 dB @1550nm	分散量 ps/nm @1550nm	分散スロープ ps/nm <sup>2</sup> @1550nm	分散スロープ ÷ 波長分散 nm <sup>-1</sup> @1550nm	分散スロープ 補償率 % @1550nm	PMD ps @1550nm 帯	合否
光モジュールA	6.6	-1360	-4.7	0.0035	102	0.2	合
光モジュールB	6.4	-1360	-3.2	0.0024	69	0.3	否
光モジュールC	6.8	-1360	-5.9	0.0043	128	0.2	否

【0031】分散補償光ファイバモジュールが満たすべきRDSは0.0034±0.0003nm<sup>-1</sup>であり、従って、光モジュールを作製するために使用可能な分散補償光ファイバはこのRDSの条件を満たすことが必要となる。この条件を満たす光ファイバは光ファイバAのみであり、従って、規格を満たす分散補償光ファイバモジュールはモジュールAのみである。この分散補償光ファイバは、屈折率分布の僅かな変動によりRDSが変化しやすいため、RDSの規格を目標値に対して±10%以内にとすると、量産時の歩留まり



りが劣化し、コスト増を生じる。

【0032】以上のことから、この例の光伝送システムによると、個々の分散補償光ファイバによる分散補償の条件を比較的緩やかに設定し、これらの分散補償光ファイバを複数本組み合わせて分散補償部12を構成することにより、分散補償光ファイバの歩留まりを維持しつつ、光伝送システム全体としては、個々の分散補償光ファイバによる分散補償の条件より分散補償の条件を厳しくして、十分な分散補償がなされるよう光伝送システムを構成することができる。また、この光伝送システムによると、40Gb/s以上の高速伝送を可能とする光伝送システムを実現することができる。

【0033】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、個々の分散補償光ファイバによる分散補償の条件を比較的緩やかに設定し、これらの分散補償光ファイバを複数本組み合わせて分散補償部を構成することにより、分散補償光ファイバの歩留まりを維持しつつ、光伝送システム全体としては、個々の分散補償光ファイバによる分散補償の条件より分散補償の条件を厳しくして、十分な分散補償がなされるよう光伝送システムを構成することができる。また、この光伝送システムによると、40Gb/s以上の高速伝送を可能とする光伝送システムを実現することができる。

## 図の説明

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光伝送システムで用いられる分散補償光ファイバの屈折率分布を示す図である。

【図2】本発明の光伝送システムの構成を示す図である。

【図3】伝送用シングルモード光ファイバの分散特性を分散補償光ファイバで補償した様子を示す図である。

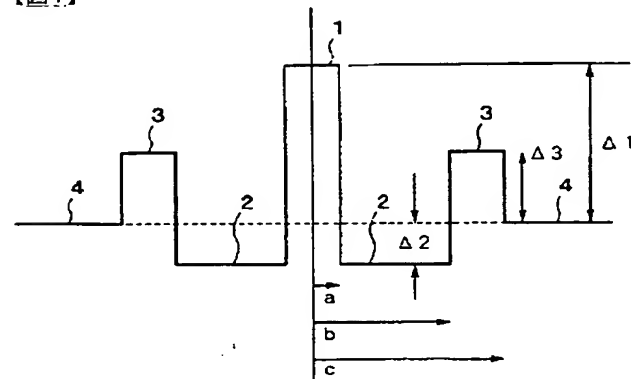
【図4】伝送速度と伝送路の蓄積分散との関係を示す図である。

【符号の説明】

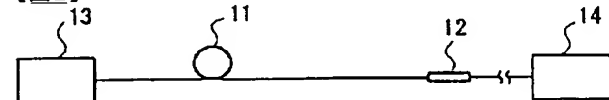
1…中心コア部、2…デプレストコア部、3…リングコア部、4…クラッド、11…伝送用光ファイバ、12…分散補償部、13…送信部、14…受信部。

## 図面

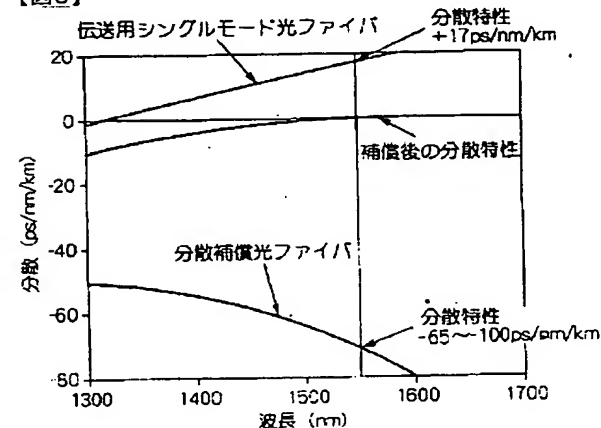
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

